

## Estructura del epifiton de diferentes macrófitas acuáticas de un sistema de planos inundables tropicales

### Structure of the epiphyton growing on different aquatic macrophytes in tropical flood plains

Yimmy Montoya-Moreno<sup>1</sup>, Néstor Aguirre<sup>1</sup>, Maria Gabriela Cano<sup>2</sup>

---

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener un conocimiento detallado de la composición específica del epifiton, sobre diferentes macrófitas acuáticas dominantes en el sistema de la Ciénaga de Ayapel durante diferentes fases del ciclo hidrológico. En 14 estaciones se determinaron las especies más abundantes de macrófitas acuáticas mediante inspección visual. Se tomaron tres muestras de epifiton de las tres macrófitas dominantes en la zona de borde. El sistema de Ayapel exhibe una elevada riqueza específica de microalgas epifitas (416 morfoespecies), especialmente de bacilariofitas con 198 taxones (48%), desmidiales con 107 taxones (26%) y cianobacterias con 34 taxones (8%). Los dos primeros grupos evidencian diferencias espaciales y temporales asociadas a los pulsos de inundación. Los grupos taxonómicos presentaron diferencias significativas en la mayoría de los casos entre los sitios o entre las ocasiones de muestreo, las comparaciones entre macrófitas respecto a los grupos no registraron diferencias. La densidad algal perifítica tiene mayores valores promedio=8.964 ind.cm<sup>-2</sup> respecto a otras comunidades en otros ecosistemas lénticos colombianos.

**Palabras clave:** Colombia, Estructura de la comunidad, Epifiton, Planos inundables, Tropical.

#### Abstract

The aim of this work was to obtain a detailed knowledge of the specific composition of epiphyton on different dominant aquatic macrophytes in flood plain of Ayapel system was studied during different phases of the hydrological cycle. In 14 stations were determined the most abundant species of aquatic macrophytes by visual inspection. Three samples for epiphyton were taken from three macrophytes dominant in the edge region. Ayapel system exhibits high epiphytic microalgal species richness (416 species), especially bacillariophytes with 198 taxa (48%), desmidiales with 107 taxa (26%) and cyanobacteria with 34 taxa (8%). The first two groups reveal spatial and temporal differences pulses associated with flooding. There are significant differences in most cases between taxonomic groups in most cases among sites or between the sampling occasions, comparisons between macrophytes with respect to taxonomic groups not recorded differences on any of the groups. Epiphytic algal density has higher average values=8.964 ind.cm<sup>-2</sup> compared to other communities in other Colombian lentic ecosystems.

**Keywords:** Colombia, Community structure, Epiphyton, Flood plains, Tropical.

#### Introducción

La determinación de la composición específica y la abundancia de los organismos que componen el epifiton son fundamentales para la evaluación de la dinámica de la comunidad frente a diversos factores ambientales, por ejemplo, en

relación a los pulsos de inundación (Montoya-Moreno & Aguirre 2013; Neiff 1990). Conocer ambas propiedades emergentes del epifiton conlleva un elevado costo económico, de tiempo y de esfuerzo en la determinación de las especies. En general, se ha tratado de evitar este costo al identificar a los organismos sólo a nivel genéri-

---

<sup>1</sup> Grupo Geolimna, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.  
e-mail: yimmymontoya3@hotmail.com

<sup>2</sup> DC Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de La Plata, La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Fecha de recibido: Febrero 24, 2012

Fecha de aprobación: Junio 20, 2012

co e incluso de grandes grupos (diatomeas, cianobacterias, clorófitas, etc.), por lo que se pierde gran cantidad de información acerca de las especies que habitan los ecosistemas acuáticos y que podrían ser de utilidad, por ejemplo en la determinación de la calidad del agua o del estado ecológico de los mismos.

Respecto al epifiton, la cantidad de investigaciones publicadas es menor, si se compara con aquellas referidas a los macroinvertebrados acuáticos o al fitoplancton y el zooplancton (Montoya-Moreno & Aguirre 2009a). Esta relación se presenta en otras regiones del país (Roldán & Ramírez 2008) y a nivel global (Wetzel 2001). Esta tendencia se debe probablemente, al escaso conocimiento sobre las comunidades relacionadas con un sustrato respecto a otras se deba a los problemas metodológicos que presenta su estudio, limitado en especial por las siguientes propiedades: a) la presencia y convivencia de organismos con diferentes tipos de hábitos (además de estrictamente epifíticos, también puede existir organismos plantónicos y en menor medida epipélicos que temporalmente habiten en esta comunidad); b) la mayor complejidad dada por las estrechas relaciones entre los organismos que se da dentro de la matriz epifítica en comparación con aquella desarrollada en el plancton; c) la generación de arquitecturas variadas y complejas; d) una elevada riqueza de especies, e) la interacción entre la comunidad y el sustrato sobre el que se desarrolla y f) la variedad de tipos de sustratos y su arquitectura (Cano 2008, Montoya-Moreno & Aguirre 2009b, Montoya-Moreno 2011). Esta situación ha derivado en una amplia variedad de técnicas de estudio y acompañada de una escasa estandarización de las mismas (Aloi 1990).

El estudio de las comunidades algales perifíticas en Colombia se ha desarrollado principalmente en embalses (Sierra & Ramírez 2000), lagos (Donato *et al.* 1996) y ríos (Ramírez & Viña 1998,

Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004, Hernández-Atilano *et al.* 2005, Montoya-Moreno & Ramírez 2007, Aguirre-Sánchez *et al.* 2008, Bustamante-Toro *et al.* 2009). Tales estudios son de corte descriptivo y analizan fundamentalmente la composición de la microbiota, la distribución témporo-espacial, la colonización y la sucesión de las especies en sustratos artificiales. En contraste, los estudios del perifiton en las ciénagas son escasos, pudiéndose mencionar en particular, la investigación de Ramírez & Viña (1998) quienes realizaron la caracterización biológica de estos cuerpos de agua localizados en el área de influencia del oleoducto central (Departamento de Córdoba y Sucre). Montoya-Moreno & Aguirre (2013a) realizaron un estado del arte del conocimiento del perifiton en el país, en el que se examinaron 84 trabajos. La mayoría de investigaciones consultadas en ese trabajo (90%), corresponden al estudio de ficoperifiton, el 10% restante incluyó ambos componentes del perifiton y se encontró una dedicada exclusivamente al zooperifiton. Solo 10,5% de las investigaciones (ocho trabajos) se han dedicado al estudio taxonómico detallado, el resto de publicaciones se orientan al estudio de la estructura y dinámica de la comunidad perifítica.

El sistema cenagoso de Ayapel presenta condiciones fisicoquímicas diferentes respecto a otras ciénagas de la región, ya que se han registrado bajos valores de conductividad (3,2 veces menores que el promedio en ciénagas de la región Caribe), de transparencia y de concentración de clorofila *a* fitoplanctónica (Montoya-Moreno & Aguirre 2013b).

Sobre la base del escaso conocimiento que se tiene de las comunidades epifitas en general y en particular de aquellas que se organizan en la superficie de las plantas acuáticas, así como también de la falta de estudios acerca del epifiton que se desarrolla en las ciénagas, se investigaron las variaciones en el espacio y en el tiempo

de esta comunidad sobre las raíces y tallos de macrófitas en los planos inundables de Ayapel y su relación con diferentes variables ambientales y físico-químicas del agua (Montoya-Moreno 2011, Montoya-Moreno & Aguirre 2009). Se espera que la fluctuación del ciclo hidrológico y el gradiente horizontal del sistema incrementen la abundancia de especies. El objetivo de este trabajo fue obtener un conocimiento detallado de la composición específica del epifiton sobre diferentes macrófitas acuáticas dominantes en el sistema de la Ciénaga de Ayapel y evaluar la variación de la estructura de la comunidad durante diferentes fases del ciclo hidrológico, el cual incluye pulsos de inundación (aguas en ascenso, aguas altas, aguas en descenso y aguas bajas).

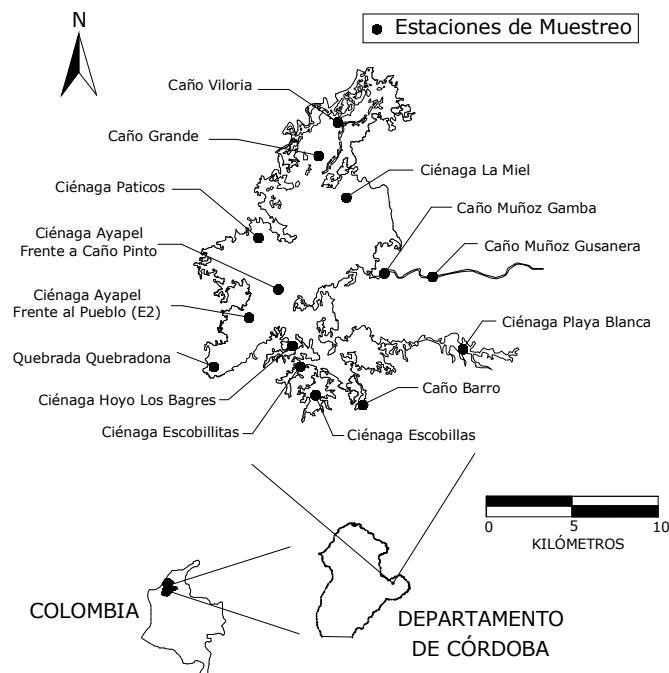
### Materiales y métodos

**Área de estudio.** El sistema cenagoso de Ayapel se ubica en el Municipio de Ayapel, Departamento de Córdoba, en la planicie Caribe del norte de Colombia (Figura 1). La cuenca de la ciénaga

(8° 04' - 8° 30' N y 74° 84' - 75° 20' W) tiene un área de 1.504 km<sup>2</sup> y se localiza entre los 20 y los 150 msnm. Se ubica en la porción media inferior del río San Jorge que corre por la vertiente oriental y cuya extensión aproximada es de 17.400 km<sup>2</sup>. La cuenca se encuentra en la zona de bosque húmedo tropical con un rango de temperatura entre los 26 y 33°C (IGAC 1986).

Este sistema cenagoso está conformado por numerosos caños y lagos de llanura de inundación que tienen conexión directa y/o indirecta con el cuerpo principal. Los catorce cuerpos muestreados (siete caños y siete lagos de llanura de inundación) fueron seleccionados en función de la existencia de información limnológica previa (Aguirre *et al.* 2005) y porque representan el gradiente espacial que abarca el análisis (diferente grado de conexión al río San Jorge).

Se realizaron nueve muestreos entre los años 2006 y 2009 que abarcaron tres ciclos hidrológicos en los que existieron tres pulsos de inun-



**Figura 1.** Localización de la Ciénaga de Ayapel y los sitios de muestreo.

dación (Tabla 1). Las características físico-químicas del agua y otros aspectos ambientales se describen en Montoya-Moreno (2011) y Montoya-Moreno *et al.* (2011).

**Evaluación de las características físico-químicas.** La evaluación de las condiciones físicas y químicas del agua en cada sitio de muestreo se comenzó al registrar la hora de llegada, la profundidad de la columna de agua, la transparencia, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, la conductividad eléctrica, la alcalinidad, la dureza, el pH y la profundidad total. Se tomaron muestras de 3 litros de agua para la determinación en el laboratorio de los sólidos totales disueltos (STD) y sólidos totales fijos (STF), nutrientes tales como nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), fósforo soluble reactivo ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) y sulfatos ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ).

**Muestreo del epifiton.** En cada cuerpo de agua se determinaron las especies más abundantes de macrófitas acuáticas mediante inspección visual. Se tomaron tres muestras de epifiton de las tres macrófitas dominantes en la zona de borde. En la Tabla 2 se detallan las especies de plantas acuáticas de las que se extrajeron muestras durante la investigación y su biotipo. Los fragmentos de sustrato provinieron de diferentes partes de las plantas según su forma de crecimiento: raíces en plantas flotantes; pecíolos en plantas arraigadas con hojas flotantes; tallos en plantas sumergidas y plantas palustres.

En todos los casos se cortaron al menos 5 fragmentos de 4 cm de longitud. La porción colectada se fijó con solución de lugol ( $\text{KI-I}_2$ ) al 10%. Se empleó una modificación de la técnica *stomaching* (Bowker 1983, Bowker *et al.* 1986) en la que el material colectado en vez de colocarse en bolsas plásticas, se ubicó directamente en frascos de plástico que se agitaron vigorosamente. Luego se colectó el agua con los epífitos

desprendidos y se observó el material sedimentado al microscopio óptico. Los lavados de los fragmentos de plantas fueron analizados bajo microscopio para comprobar la separación de los organismos. En los casos en que el desprendimiento del epifiton fue insuficiente, se repitió el procedimiento de agitación de la muestra y desprendimiento del material con ayuda de un pincel suave hasta alcanzar una separación superior al 95% del material (Bowker *et al.* 1986). Con esta técnica, tanto el material adherido como el laxamente relacionado con el sustrato se colectaron juntos en la misma muestra en un volumen final de 30 ml.

Para la determinación de las especies algales se empleó literatura especializada de acuerdo con el grupo taxonómico (Apéndice). El ordenamiento sistemático se realizó según la base de datos Algaebase (Guiry & Guiry 1996-2013). Asimismo, se consultaron las actualizaciones de los nombres científicos de los taxones tanto en esta base de datos como en la base AlgaTerra Information System (Jahn & Kusber 2005-2013).

El conteo se realizó con la ayuda de un microscopio Olympus DHK con objetivo de 40x y cámaras de Segdwick-Rafter de 1 ml de capacidad en las que se contaron los organismos en 50 campos elegidos al azar. En el caso de las diatomeas, se determinó primero su abundancia grupal en cada muestra. Luego, se estimaron las frecuencias relativas de cada especie en montajes permanentes con Naphrax® a partir de muestras de 1 ml las cuales fueron oxidadas con  $\text{H}_2\text{O}_2$  (CEN/TC 230, 2002) también en 50 campos al azar. Con esta información se calcularon las densidades de las especies de diatomeas en la muestra original.

Para la identificación taxonómica se empleó un microscopio óptico de contraste de fases Leica DM 2500 y un microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-T100 en el que se montó el mate-

**Tabla 1. Fechas y números de referencia de cada muestreo, características hidroclimáticas y fisicoquímicas del sistema en cada ocasión**

Fecha	Mu	Característica hidroclimática	Z (m)	ZSD (m)	Tw (°C)	OD (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	FSR (mg/L)	Precip (mm/mes)
may-06	1	Agua en ascenso	3,52	0,42	30,35	4,66	6,47	65,61	0,93	0,07	0,11	0,47	64,50
jul-06	2	Agua en ascenso	4,08	0,75	31,05	4,53	6,94	46,00	0,89	0,05	0,11	0,56	22,50
sep-06	3	Agua alta	3,91	0,73	32,15	5,27	6,67	31,13	2,47	0,06	0,08	0,27	0,00
dic-06	4	Agua en descenso	3,41	0,81	30,79	4,14	6,66	63,41	1,33	0,14	0,08	0,35	9,10
mar-07	5	Agua baja	1,59	0,23	30,44	5,28	6,72	53,27	2,44	0,26	0,17	1,04	1,50
ago-07	6	Agua en ascenso	5,06	1,13	30,17	4,01	6,71	35,06	0,70	0,06	0,03	0,20	410,00
ene-08	7	Agua alta	3,84	0,96	30,37	5,35	7,19	116,59	0,58	0,19	0,05	0,70	15,30
sep-08	8	Agua en descenso	4,02	0,78	32,46	4,96	6,52	31,15	0,69	0,19	0,11	0,35	233,00
ene-09	9	Agua en descenso	2,81	0,63	30,86	7,67	6,14	90,71	1,19	0,51	0,08	0,36	1,40

Mu: Muestreo, Z: Profundidad, ZSD: Transparencia, Tw: Temperatura del agua, OD: Oxígeno disuelto, CE: Conductividad eléctrica, N-NH<sub>4</sub>: Nitrogeno amoniacal, FSR: Fósforo soluble reactivo, Precip: Precipitación

rial en tacos de vidrio, los que inicialmente fueron metalizados con oro-paladio en un metalizador Jeol FINE COAT ION SPUTTER JFC-1100 en el servicio de microscopía electrónica del Museo de La Plata.

La densidad algal fue calculada según la fórmula de Ross (1979) y se expresó en individuos por cm<sup>2</sup>, independientemente de la forma de crecimiento (unicelular, colonial, filamentoso, etc). Es decir, que un organismo unicelular, una colonia o un filamento se consideraron como un solo individuo aunque se tuvo en cuenta un valor promedio de células por forma de crecimiento para definir el número de células de cada organismo. El área de las raíces, pecíolos y tallos se midió con papel milimetrado bajo un estereoscopio. Las mediciones se realizaron por secciones dadas las diferencias en el diámetro a lo largo de las raíces y tallos.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética, MA) y de dispersión (desviación estándar, S y coeficiente de variación relativa de Pearson, CV). Las densidades de los grupos taxonómicos y diferentes variables comunitarias (densidad total, riqueza específica, equitatividad y el índice de dominancia) fueron utilizadas cada una en tres análisis ANOVA para detectar diferencias (a través de tests post-hoc LSD) entre los sitios y las ocasiones de muestreo, así como también entre las macrófitas-sustrato. Las pruebas estadísticas se realizaron con el paquete Statgraphics versión 5.1.

## Resultados

Durante los tres ciclos hidroclimáticos de estudio la transparencia osciló entre 0,05-1,7 m (CV=61%), la profundidad de la columna de agua entre 0,25-6,7 m (CV=43%), la tempe-

**Tabla 2. Especies de macrófitas acuáticas muestreadas**

Taxa
<b>Plantas flotantes</b>
<i>Lemna minor</i> Linneo
<i>Eichhornia azurea</i> (Swartz) Kunth
<i>Eichhornia crassipes</i> (Martius) Solms-Laubach
<i>Eichhornia heterosperma</i> Alexander
<i>Pistia stratiotes</i> Linneo
<i>Salvinia minima</i> Baker
<b>Plantas arraigadas con hojas flotantes</b>
<i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpland) Hiroshi Hara
<i>Marsilea quadrifolia</i> Linneo
<i>Trapa natans</i> Linneo
<i>Utricularia foliosa</i> Linneo
<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze
<b>Plantas sumergidas</b>
<i>Najas guadalupensis</i> (Sprengel) Magnus
<b>Plantas palustres</b>
<i>Aeschynomene americana</i> Linneo
<i>Paspalum repens</i> P.J. Bergius
<i>Mimosa</i> sp.
<i>Polygonum</i> sp.

ratura del agua entre 23,9-39,1°C (CV=9%), el oxígeno disuelto entre 0,4-10,6 ppm (CV=45%), el pH osciló entre 2,9-8 unidades de pH (CV=12%), la conductividad eléctrica entre 12,1-161  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (CV=73%), los nitratos entre 0-5 mg.  $\text{l}^{-1}$  (CV=107%), nitritos entre 0-2,1 mg.  $\text{l}^{-1}$  (CV=218%), nitrógeno amoniacal 0-0,42 mg.  $\text{l}^{-1}$  (CV=98%) y el fósforo soluble reactivo que varió entre 0,03-2,8 mg.  $\text{l}^{-1}$  (CV=102%). En la Tabla 1 se incluyen los valores promedio de las 14 estaciones de muestreo para cada campaña de monitoreo.

Se identificaron 416 morfoespecies de algas que conformaron las comunidades epífitas observadas (Tabla 3). Las bacilariofíceas presentaron la

mayor riqueza específica con 198 morfoespecies (48%), a las que siguieron las streptofíceas con 107 desmidiales y sólo 3 zignematales (26%). Las clorófitas y las cianobacterias estuvieron representadas por 49 y 34 taxones, respectivamente (12% y 8 % en orden correspondiente). Además, con riquezas específicas menores al 3% del total, se identificaron 14 euglenofíceas, 6 heterocontas no bacilariofíceas (sinurofíceas, crisofíceas y xantofíceas) y 3 mizozoa (dinoflagelados).

En la Figura 2 se muestra la composición del epifiton en el tiempo representada por la media (n=14) de las contribuciones porcentuales de los diferentes grupos taxonómicos en cada ocasión de muestreo. Las bacilariofíceas dominaron la estructura de las comunidades en todas las ocasiones, con contribuciones entre 38% y 60% de la riqueza específica total. En orden de importancia le siguieron las streptofíceas, en su mayoría desmidiales (14-31%) y en menor medida las cianobacterias (6-17%). También pudo observarse que en macrófitas del mismo género se encontraron diferencias en la estructura y composición del ensamblaje, además de variaciones pequeñas en la arquitectura de las raíces (Montoya-Moreno & Aguirre 2011). Se encontraron diferencias en la densidad de perifiton por unidad de área, en las distintas raíces estudiadas en especial en *Nymphoides humboldtiana* la cual tiene una raíz principal única, la cual presenta la menor diversidad, equidad y riqueza de especies, lo cual se atribuye a una combinación de factores ambientales, físicos y químicos, así como al tipo de sustrato (Montoya-Moreno & Aguirre 2009b).

Resultados similares se obtuvieron al calcular el promedio (n=9) de las contribuciones porcentuales de la riqueza de los diferentes grupos taxonómicos para cada sitio. En conjunto, las bacilariofíceas, las cianobacterias y las streptofíceas (desmidiales) aportan más del 90% de la riqueza específica de las comunidades en todas

**Tabla 3. Lista de microalgas identificadas en el epifiton en las ciénagas de Ayapel**

Taxa	Taxa
<b>REINO CHROMISTA</b>	
<b>Phylum Ochrophyta</b>	
<b>Clase Bacillariophyceae</b>	
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützinger) Grunow	<i>Gomphosphaenia</i> sp.
<i>Achnanthes rupestoides</i> Hohn	<i>Gomphonema</i> sp. Ehrenberg
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	<i>Gomphonema archaevibrio</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt
<i>Achnanthidium exiguum</i> var. <i>constricta</i> Grunow	<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützinger) Czarnecki	<i>Gomphonema augur</i> var. <i>sphaerophorum</i> (Ehr) Grunow
<i>Actinella guianensis</i> Grunow	<i>Gomphonema contraturris</i> Lange-Bertalot & Reichardt
<i>Actinella mirabilis</i> Grunow	<i>Gomphonema guaraniarum</i> D. Metzeltin & Lange-B.
<i>Actinella robusta</i> Hustedt	<i>Gomphonema neoapiculatum</i> Lange-Bertalot, E. Reichardt & D. Metzeltin
<i>Actinella</i> sp.	<i>Gomphonema neonasutum</i> Lange-B. & E. Reichardt
<i>Amphora</i> sp. Ehrenberg ex Kützinger	<i>Gomphonema salae</i> Lange-Bertalot & E. Reichardt
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Gomphonema sphaerophorum</i> Ehrenberg
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F. Müller) Simonsen	<i>Gomphonema subtile</i> Ehrenberg
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Gomphonema</i> aff. <i>affine</i> Kützinger
<i>Aulacoseira herzogii</i> (Lemmerman) Simonsen	<i>Gyrosigma</i> sp. Hassall
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick
<i>Aulacoseira subartica</i> (Otto Müller) E.Y.Haworth	<i>Hantzschia</i> sp. Grunow
<i>Aulacoseira</i> aff. <i>muzzanensis</i> (Meister) Krammer	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow
<i>Aulacoseira</i> aff. <i>pfaffiana</i> (Reinsch) Krammer	<i>Hippodonta</i> aff. <i>uruguayensis</i> Mezeltin, Lange-Bertalot & García Rodríguez
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère	<i>Karayevia</i> sp.
<i>Brachysira</i> cf. <i>manfredii</i> Lange-Bertalot	<i>Kobayasiella</i> aff. <i>tapajosensis</i> Metzeltin & Lange-Bertalot
<i>Brachysira</i> sp. Kützinger	<i>Kobayasiella micropunctata</i> (Germain) Lange-Bertalot
<i>Caloneis</i> aff. <i>bacillum</i> (Grunow) Cleve	<i>Kobayasiella madumensis</i> (Jørgensen) Lange-Bertalot
<i>Caloneis</i> aff. <i>bacillum</i> fo. <i>inflata</i> (Hustedt)	<i>Kobayasiella</i> sp.
<i>Caloneis limosa</i> (Kützinger) R.M.Patrick	<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) F.E. Round & P.W. Basson
<i>Caloneis</i> sp. Cleve	<i>Lemnicola</i> sp. Round & P.W. Basson
<i>Capartogramma crucicula</i> (Grunow ex Cleve) Ross	<i>Luticola mutica</i> (Kützinger) D. G. Mann
<i>Chamaepinnularia</i> sp. Lange-Bertalot & Krammer	<i>Luticola</i> sp. D.G. Mann
<i>Conticribra weissflogii</i> (Grunow) K.Stachura-Suchoples & D.M.Williams	<i>Navicula notha</i> Wallace
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützinger) D. G. Mann	<i>Navicula</i> cf. <i>recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
<i>Craticula halopannonica</i> Lange-Bertalot	<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (Kützinger) Cleve
<i>Craticula</i> aff. <i>perrotettii</i> Grunow	<i>Navicula</i> aff. <i>cryptocephala</i> Kützinger
<i>Craticula</i> sp.	<i>Navicula symmetrica</i> Patrick
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Naviculadicta nanogomphonema</i> Lange-B. & U.Rumrich
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützinger	<i>Naviculadicta sassiana</i> Medzeltin & Lange-Bertalot
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Neidium</i> sp. Pfitzer
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfitzer
<i>Cymboplectra</i> sp.	<i>Neidium iridis</i> var. <i>amphigomphus</i> (Ehrenberg) A.Mayer
<i>Denticula kuetzingii</i> Grunow	<i>Nitzschia</i> sp. Hassall
<i>Diademsis confervacea</i> Kützinger	<i>Nitzschia subacicularis</i> Hustedt
<i>Diademsis confervaceae</i> var. <i>capitata</i> Krasske	<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow
<i>Diademsis</i> aff. <i>brekkaensis</i> (Petersen) D.G.Mann in Round.	<i>Nitzschia</i> aff. <i>inconspicua</i> Grunow
<i>Diademsis</i> cf. <i>contenta</i> (Grunow ex Van Heurck) D.G. Mann	<i>Nitzschia</i> cf. <i>graciliformis</i> Lange-Bertalot & Simonsen
<i>Diploneis</i> sp.	<i>Nitzschia</i> cf. <i>palea</i> (Kützinger) W. Smith
<i>Discotella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	<i>Nitzschia</i> cf. <i>frustulum</i> (Kützinger) Grunow
<i>Discotella stelligera</i> var. <i>elliptica</i> Guerrero & Echenique	<i>Nitzschia paleaeformis</i> Hustedt
<i>Discotella stelligera</i> var. <i>glomerata</i> (Hustedt) Houk et Klee	<i>Nupela</i> sp. Vyverman & Compère
<i>Discotella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk et Klee	<i>Pinnularia acrosphaeria</i> var. <i>acrosphaeria</i> W.Smith
<i>Encyonema jemtlandicum</i> Krammer	<i>Pinnularia neomajor</i> K. Krammer
<i>Encyonema lunatum</i> (W.Smith) Van Heurck	<i>Pinnularia subgibba</i> Krammer
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	<i>Pinnularia</i> aff. <i>perinstabilis</i> D. Metzeltin & K. Krammer
<i>Encyonema neogratile</i> var. <i>tenuipunctata</i> Krammer	<i>Pinnularia rostratissima</i> var. <i>parva</i> D.Metzeltin & K. Krammer
<i>Encyonema</i> sp. Kützinger	<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg
<i>Encyonopsis frequentis</i> Krammer	<i>Placoneis</i> aff. <i>molestissima</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez

**Tabla 3. Lista de microalgas identificadas en el epifiton en las ciénagas de Ayapel (continuación)**

*Encyonopsis* aff. *subspicula* Krammer  
*Eolimna subminuscula* (Manguin) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin  
*Eolimna* sp.

*Eunotia bidens* Ehrenberg  
*Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Schaarschmidt

*Eunotia camelus* Ehrenberg  
*Eunotia didyma* Grunow  
*Eunotia didyma* fo. Minor Grunow  
*Eunotia elongata* D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia flexuosa* (Brébisson ex Kützing) Kützing  
*Eunotia glacialis* Meister

*Eunotia guianense* (Ehrenberg) De Toni  
*Eunotia incisa* W.Smith ex W. Gregory

*Eunotia indica* Grunow  
*Eunotia major* (W. Smith) Rabenhorst  
*Eunotia minor* (Kützing) Grunow  
*Eunotia monodon* Ehrenberg  
*Eunotia naegeli* Migula  
*Eunotia neomundana* D.Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia papilio* (Ehrenberg) Grunow  
*Eunotia pileus* var. *guianense* (Ehrenberg) E. Reichardt

*Eunotia praeupta* Ehrenberg  
*E. praeupta* var. *excelsa* Krasske  
*Eunotia rabenhorstiana* (Grunow) Hustedt  
*Eunotia rabenhorstiana* var. *elongata* (Patrick) D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia serra* var. *diadema* (Ehrenberg) R.M. Patrick  
*Eunotia subrobusta* Hustedt  
*Eunotia transfuga* D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia yanomami* D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia zygodon* Ehrenberg  
*Eunotia* aff. *coccinea* D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia* aff. *disproportionata* D. Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia* aff. *formica* Ehrenberg  
*Eunotia* aff. *reichardtii* D. Metzeltin & Lange-B.  
*Eunotia* cf. *coringii* D.Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Eunotia* cf. *pseudoserra* P.E.De Oliveira & M. Steinitz-Kannan  
*Eunotia* sp.

*Fragilaria capucina* Desmazières  
*Fragilaria capucina* subsp. *rumpens* (Kützing) Lange-Bertalot  
*Fragilaria minuscula* (Grunow) D.M.Williams  
*Fragilariforma* sp.  
*Frustulia krammeri* Lange-Bertalot y Metzeltin  
*Frustulia* sp.  
*Geissleria* sp. Lange-Bertalot & Metzeltin

#### **Clase Synurophyceae**

*Mallomonas* sp

#### **Clase Chrysophyceae**

*Dinobryon* sp.

#### **Phylum Dynophyta**

#### **Clase Dynophyceae**

*Ceratium* sp.

*Peridinium gatunense* Nygaard

*Peridinium* aff. *umbonatum* F. Stein

*Placoneis* cf. *gracilis* f. *minor* (Manguin) Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez  
*Placoneis* aff. *constans* (Hustedt) E.J.Cox  
*Placoneis* aff. *elegans* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez  
*Placoneis* sp.  
*Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Round & L.Bukhtiyarova  
*Rhopalodia brebissonii* Krammer  
*Rhopalodia* sp.  
*Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkovsky  
*Sellaphora americana* (Ehrenberg) D.G.Mann  
*Sellaphora laevis* (Kützing) D.G. Mann  
*Sellaphora* aff. *rectangularis* (Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin  
*Sellaphora* sp.  
*Stauroneis adamsiana* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez  
*Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg  
*Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg fo.  
*Stauroneis anceps* Ehrenberg  
*Stauroneis* aff. *gracilis* Ehrenberg  
*Stauroneis* aff. *schinzi* var. *maxima* Frenguelli  
*Stauroneis* sp.  
*Staurosira* sp.  
*Stenopterobia delicatissima* (F.W.Lewis) Brébisson ex van Heurck  
*Stenopterobia* aff. *planctonica* D.Metzeltin & Lange-B.  
*Stenopterobia* aff. *krammeri* D. Metzeltin & Lange-B.  
*Stenopterobia* sp.  
*Surirella* aff. *linearis* W.Smith  
*Surirella tenera* Gregory  
*Surirella rotti* D.Metzeltin & Lange-Bertalot  
*Surirella guatemalensis* Ehrenberg  
*Surirella splendida* (Ehrenberg) Kützing  
*Surirella* sp.  
*Synedra* sp. Ehrenberg  
*Synedra acus* var. *radians* (Kützing) Hustedt  
*Synedra gouldii* Brébisson ex Cleve & Grunow  
*Synedra montana* Krasske ex Hustedt  
*Synedra rumpens* var. *familiaris* (Kützing) Hustedt  
*Synedra rumpens* var. *scotica* Grunow  
*Tryblionella levidensis* W. Smith  
*Tryblionella* cf. *acuminata* W. Smith  
*Tryblionella* sp.  
*Ulnaria acus* (Kützing) M. Aboal  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) P. Compère  
*Ulnaria lanceolata* (Kützing) P. Compère  
*Urosolenia* aff. *amazonica* Sala, Núñez-Avellaneda & Vouilloud

#### **Clase Xanthophyceae**

*Centritractus* sp.

*Characiopsis* sp.

*Ophiocytium* sp.

*Tribonema* sp.



**Tabla 3. Lista de microalgas identificadas en el epifiton en las ciénagas de Ayapel (continuación)**

**REINO PLANTAE**

**Subreino Streptophyta**

**O. Desmidiaceae**

*Actinotaenium wollei* (West & G.S.West) Teiling

*Bambusina borreri* (Ralfs) Cleve

*Closterium* aff. *rostratum* Ehrenberg ex Ralfs

*Closterium calosporum* Wittrock

*Closterium lineatum* (K.Rosa) Croasdale

*Closterium lunula* var. *lunula* Ehrenberg & Hemprich ex Ralfs

*Closterium lunula* var. *maximum* Borge

*Closterium macilentum* var. *japonicum* (Surigar) W.Krieger

*Closterium moniliferum* Ehrenberg ex Ralfs

*Closterium moniliferum* var. *concaum* G.A.Klebs

*Closterium parvulum* Nägeli

*Closterium setaceum* Ehrenberg ex Ralfs

*Closterium setaceum* var. *elongatum* West & G.S.West

*Closterium subulatum* var. *maius* Krieger

*Cosmarium laeve* Rabenhorst

*Cosmarium margaritiferum* Meneghini ex Ralfs fo.

*Cosmarium margaritiferum* Meneghini ex Ralfs

*Cosmarium panamense* Prescott

*Cosmarium pseudocannatum* Nordstedt

*Cosmarium pseudoholmii* Borge

*Cosmarium* sp.

*Cosmarium circulare* Reinsch

*Desmidium aptogonum* Brébisson ex Kützing

*Desmidium baileyi* (Ralfs) Nordstedt

*Desmidium baileyi* fo. *minus* C.E. de M. Bicudo

*Desmidium grevilli* (Kützing ex Ralfs) De Bary

*Euastrum ansatum* Ehrenberg ex Ralfs

*Euastrum abruptum* Nordstedt

*Euastrum ampullaceum* Ralfs

*Euastrum ansatum* var. *subconcaum* A.M. Scott y Prescott

*Euastrum binale* Ehrenberg ex Ralfs

*Euastrum brasiliense* Borge

*Euastrum* cf. *ansatum* Ehrenberg ex Ralfs

*Euastrum denticulatum* var. *rectangulare* West & G.S. West

*Euastrum evolutum* (Nordstedt) West & G.S.West

*Euastrum evolutum* var. *monticulosum* (Taylor) Krieger

*Euastrum evolutum* var. *nycticorax* A.Couté & G. Tell

*Euastrum fissum* var. *brasiliense* (Borge)W.Krieger

*Euastrum gemmatum* (Brébisson) Ralfs

*Euastrum gemmatum* var. *monocyclum* Nordstedt

*Euastrum informe* Borge

*Euastrum* aff. *luetkemulleri* F. Duceilier

*Euastrum marianopoliense* T.J.C. Irénée-Marie

*Euastrum simia* W.Krieger

*Euastrum sinuosum* Lenormand ex W.Archer

*Euastrum* sp.

*Euastrum validum* var. *glabrum* W. Krieger

*Gonatozygon aculeatum* W. N. Hastings

*Gonatozygon monotaenium* De Bary

*Gonatozygon* sp.

*Hyalotheca dissiliens* Brébisson ex Ralfs

*Ichthyocercus* sp

*Micrasterias rotata* Ralfs

*Micrasterias furcata* C. Agardh ex Ralfs

*Micrasterias abrupta* West & G.S.West

*Micrasterias americana* Ehrenberg ex Ralfs

*Micrasterias birradiata* West

*Micrasterias* cf. *pinnatifida* Ralfs

*Micrasterias foliacea* var. *ornata* Nordstedt

*Micrasterias laticeps* Nordstedt

*Micrasterias mahabuleshwariensis* J. Hobson

*Micrasterias pinnatifida* Ralfs

*Micrasterias radians* W. B. Turner

*Micrasterias radiata* (West y G. S. West) Croasdale

*Micrasterias radiosa* Ralfs

*Micrasterias radiosa* var. *elegantior* (G. M. Smith) H.

T.Croasdale

*Micrasterias radiosa* var. *ornata* f. *elegantior* (G.S.West) G. M.

Smith

*Micrasterias rotata* (Grev.) Ralfs

*Micrasterias* sp.

*Micrasterias torreyi* Bailey ex Ralfs

*Micrasterias tropica* Nordstedt

*Micrasterias truncata* (Corda) Brébisson ex Ralfs

*Micrasterias truncata* var. *bahusiensis* Wittrock

*Netrium digitus* (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe.

*Netrium digitus* var. *rhomboideum* Grönblad

*Netrium* sp.

*Ochtacanthidium* sp.

*Ochtacanthium octocorne* (Ralfs) Compère

*Sphaerosoma* sp.

*Sphaerosoma laeve* (Nordstedt) Thomasso

*Onychonema uncinatum* var. *americanum* Scott & Grönblad

*Pleurotaenium ehrenbergii* (Ralfs) Delponte

*Pleurotaenium nodosum* (Bailey ex Ralfs) Lundell

*Pleurotaenium* sp.

*Pleurotaenium constrictum* (Bailey) H. Wood

*Pleurotaenium trabecula* (Ehrenberg) Nägeli

*Spinocosmarium* sp.

*Spondylosium nitens* (G.C.Wallich) W.Archer

*Spondylosium pulchrum* Schmidle

*Spondylosium rectangulare* (Wolle) West & G.S.West

*Staurastrum arcticon* (Ehrenberg ex Ralfs) P.Lundell

*Staurastrum brasiliense* Nordstedt

*Staurastrum leptocladum* Nordstedt

*Staurastrum quadrangulare* var. *longispinum* Børgesen

*Staurastrum rotula* Nordstedt

*Staurastrum setigerum* Cleve

*Staurastrum* sp.

*Staurastrum trifidum* Nordstedt

*Staurodesmus* sp.

*Staurodesmus subulatus* (Kützing) Thomasson

*Xanthidium antilopaeum crameri* Grönblad

*Xanthidium armatum* Brébisson ex Ralfs

*Xanthidium* sp.

*Xanthidium trilobum* Nordstedt

*Triploceras* sp.

**O. Zygnematales**

*Mougeotia* sp.

*Spirogyra* sp.

*Zygnema* sp.

**Tabla 3. Lista de microalgas identificadas en el epifiton en las ciénagas de Ayapel (continuación)**

**Subreino Chlorophyta**

**O. Chlamydomonadales**

*Actinastrum* sp.  
*Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs  
*Ankistrodesmus* sp. 1  
*Ankistrodesmus* sp. 2  
*Ankyra* sp.  
*Botryococcus braunii* Kützing  
*Chlorella* sp.  
*Closteriopsis* sp.  
*Coelastrum sphaericum* Nägeli  
*Coelastrum* sp.  
*Crucigenia quadrata* Morren  
*Crucigeniella* sp.  
*Crucigeniella apiculata* (Lemmerman) Komárek  
*Desmodesmus* sp.  
*Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald  
*Desmodesmus opoliensis* (P. Richter) E. Hegewald  
*Dictyosphaerium* sp.  
*Golenkinia* sp.  
*Kirchneriella* cf. *lunaris* (Kirchner) K. Möbius  
*Korshikoviella limnetica* (Lemmermann) Silva  
*Lagerheimia* sp.  
*Micractinium* sp.  
*Monoraphidium* sp.  
*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) Bock, Proschold & Krienitz.  
*Oocystella* sp.  
*Oocystis* aff. *lacustris* Chodat

**Cianobacterias**

**O. Chroococcales**

*Aphanocapsa* sp.  
*Borzia* sp.  
*Chamaesiphon* sp.  
*Chroococcus* aff. *dispersus* (Keissler) Lemmermann  
*Chroococcus* sp.  
*Coelosphaerium* sp.  
*Gloeocapsa* sp.  
*Merismopedia* sp.  
*Pseudocapsa* sp.  
 Fam. Xenococcaceae

**O. Nostocales**

*Anabaena* sp.  
*Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju  
*Cylindrospermum* sp.  
*Hapalosiphon* sp.  
*Nodularia* sp.  
*Nostoc* sp.  
*Raphidiopsis* sp.  
*Rivularia* sp.

**Euglenoficeas**

*Lepocinclis acus* (O.F.Müller) Marin & Melkonian  
*Euglena megalithus* Skuja  
*Euglena* sp.  
*Lepocinclis fusca* (Klebs) Kosmala & Zakrys  
*Lepocinclis oxyuris* (Schmarda) Marin & Melkonian  
*Lepocinclis spirogyroides* Marin & Melkonian  
*Phacus curvicauda* Svirenko

*Pediastrum duplex* Meyen  
*Pediastrum* sp.  
*Scenedesmus bijugus* (Turpin) Lagerheim  
*Scenedesmus verrucosus* Y.V. Roll  
*Scenedesmus securiformis* Playfair  
*Scenedesmus* sp.  
*Selenastrum* sp.  
*Sorastrum* sp.  
*Sphaerocystis* sp.  
*Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald  
*Cylindrocapsa* sp.  
*Tetraedron caudatum* (Corda) Hansgirg  
*Tetraedron gracile* (Reinsch) Hansgirg  
*Tetraedron trigonum* (Nägeli) Hansgirg  
*Tetraedron* sp.

*Tetrastrum glabrum* (Y.V.Roll) Ahlstrom & Tiffany

**O. Chaetophorales**

*Chaetophora* sp.  
*Stigeoclonium* sp.

**O. Oedogoniales**

*Bulbochaete* sp.  
*Oedocladium* sp.  
*Oedogonium* sp.

**O. Ulothricales**

*Geminella* sp.  
*Ulothrix* sp.

*Romeria* sp.  
*Spirulina* sp.  
*Tolypothrix* sp.  
*Trichodesmium* sp.

**O. Oscillatoriales**

*Komvophoron constrictum* (Szafer) Anagnostidis & Komárek  
*Lyngbya* sp. 1  
*Lyngbya* sp. 2  
 Fam. Microchetaceae  
*Komvophoron constrictum* (Szafer) Anagnostidis & Komárek.  
*Oscillatoria* sp.  
*Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek  
*Phormidium* sp.  
*Plectonema* sp.

*Pseudanabaena* sp.

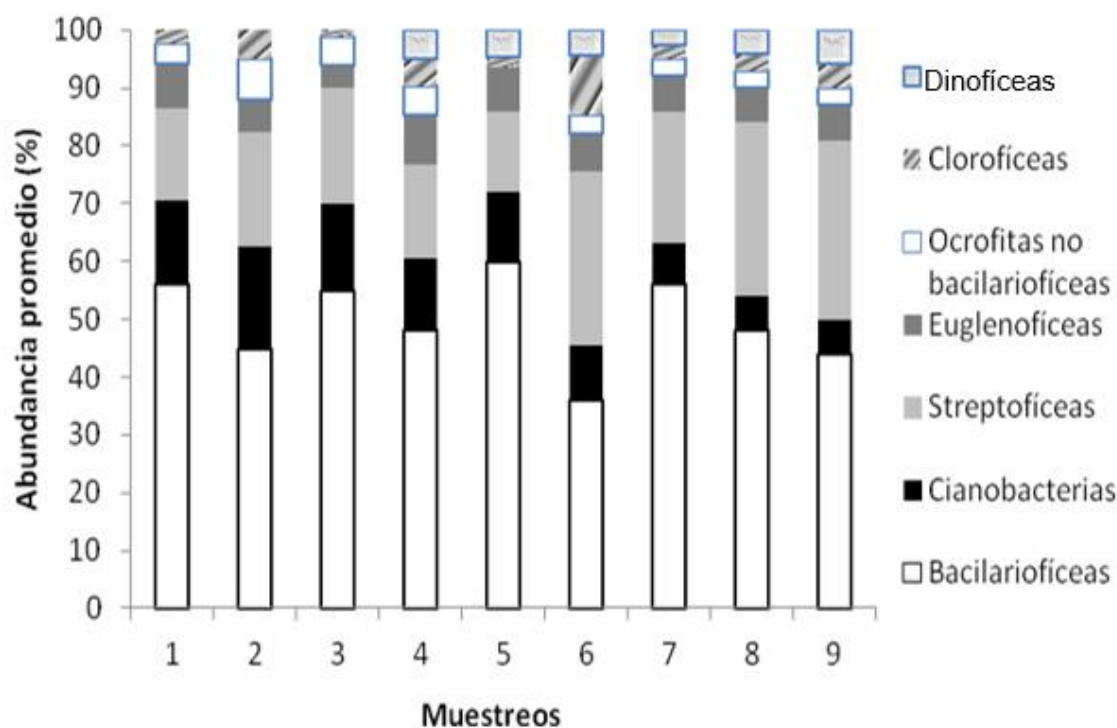
**O. Scytonematales**

*Scytonema* sp.

**O. Stigonematales**

*Stigonema* sp.

*Phacus* sp.  
*Strombomonas* sp.  
*Trachelomonas armata* (Ehrenberg) F. Stein  
*Trachelomonas superba* Svirenko  
*Trachelomonas volvocina* Ehrenberg  
*Trachelomonas* sp.



**Figura 2.** Contribución porcentual promedio de la riqueza de especies en cada muestreo.

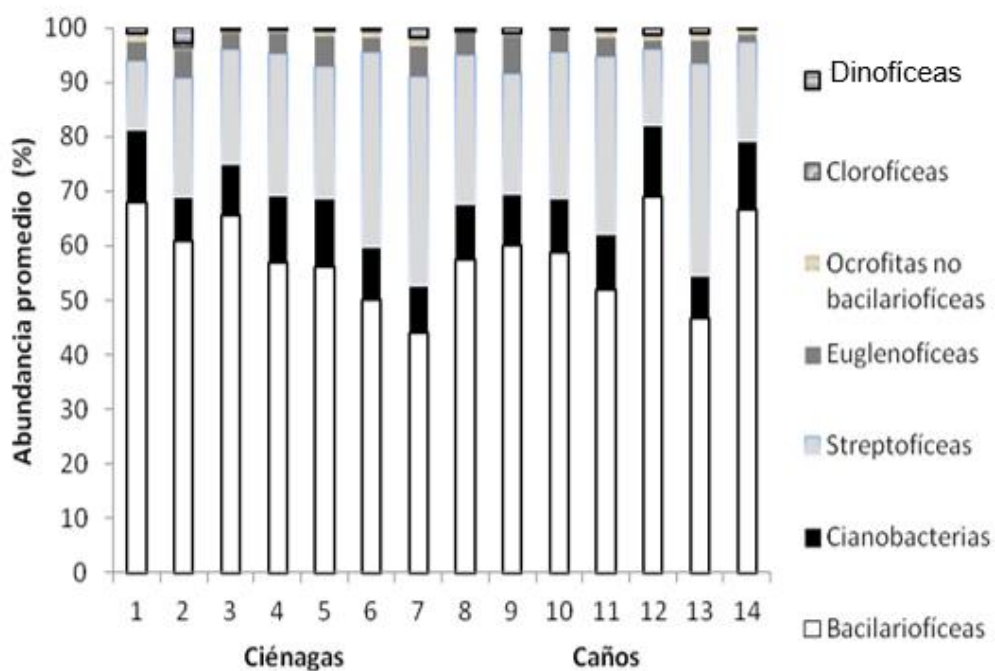
las fechas (Figura 3). Las diatomeas fueron dominantes sensu Lobo & Leighton (1986), ya que aportan entre el 42 y 69% de las especies del epifiton en todas las ocasiones.

La densidad algal varió entre 1556 ind. cm<sup>-2</sup> y 16.328 ind. cm<sup>-2</sup>, con un valor medio de 8.964 ind. cm<sup>-2</sup> y un coeficiente de variación del 65.9% a lo largo del período de estudio. En la Figura 4, donde se grafican las densidades totales promedio en cada ocasión de muestreo, se observa que la elevada variación a través del tiempo se debió al incremento de la densidad relacionada con dos pulsos de aguas altas que comenzaron en septiembre de 2006 y en agosto de 2007, respectivamente.

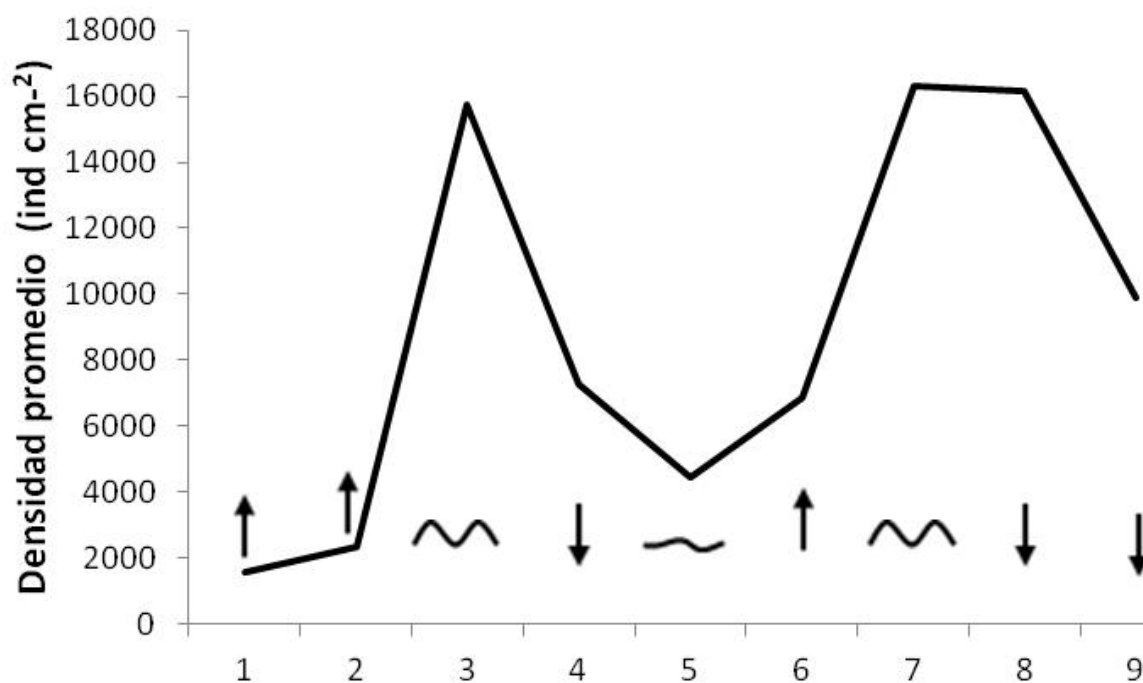
El índice de diversidad varió entre 0,78 y 3,9 nats. ind<sup>-1</sup> con un coeficiente de variación (CV) del 0,26%, la equitatividad osciló entre 0,3 y 0,9 con un CV del 4,5%, la riqueza de especies fluctuó entre 3 y 80 con un CV del 0,5% y la dominancia presentó valores entre 0,04 y 0,7 con una varia-

ción del 0,7%. Los estimadores de diversidad evidencian que el ensamblaje se caracterizó por presentar baja dominancia, equitatividad alta, con una riqueza y diversidad media. Los estimadores de diversidad presentaron coeficientes de variación bajos (C.V < 5%).





Las densidades de los grupos taxonómicos y diferentes variables comunitarias (densidad total, riqueza específica, equitatividad y el índice de dominancia) fueron utilizadas cada una en tres análisis ANOVA para detectar diferencias (a través de test post-hoc LSD) entre los sitios y las ocasiones de muestreo, así como también entre las macrófitas-sustrato (Tabla 4). Los grupos taxonómicos presentaron diferencias significativas en la mayoría de los casos entre los sitios y entre las ocasiones de muestreo, las comparaciones entre macrófitas no fueron significativas respecto a ninguno de los grupos, aunque si para la densidad algal epifítica y para la riqueza de especies. Las algas heterocontas no bacilariofíceas y las criptofitas no presentaron diferencias entre



**Figura 3.** Contribución porcentual promedio de los diferentes grupos algales a la riqueza específica total en cada punto de muestreo. Simbología: 1) C. Escobillitas, 2) C. Escobillas, 3) C. Frente a Ayapel, 4) C. La Miel, 5) C. Playa Blanca, 6) C. Patiscos, 7) C. Hoyo los Bagres, 8) Caño Viloria, 9) Caño Grande, 10) Quebrada Quebradona, 11) Caño Muñoz Gusanera, 12) Caño Muñoz Gamba, 13) Caño Barro y 14) Caño Pinto.



**Figura 4.** Densidad total promedio del epifiton a lo largo del tiempo. Referencias:

 Aguas bajas     
  Aguas altas     
  Aguas en descenso     
  Aguas en ascenso

**Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) realizados con abundancia por grupos taxonómicos y variables comunitarias.**

Variable	Factor	F	$\alpha$	Diferencias significativas (test LSD)
<b>Grupos taxonómicos</b>				
Bacilariofíceas	Sitios	7,88	>0,001*	E1, E7, E12, E13
	Ocasiones	13,61	>0,001*	M1, M5, M6, M9
	Macrófitas	1,1	0,36	n.s
Streptofíceas	Sitios	9,77	>0,001*	E1, E2, E3, E8, E9
	Ocasiones	17,91	>0,001*	M5, M8, M9
	Macrófitas	1,29	0,27	n.s
Cianobacterias	Sitios	2,7	0,001*	E1-E9
	Ocasiones	21,79	>0,001*	M1, M2, M3, M8, M9
	Macrófitas	0,95	0,48	n.s
Heterocontas no bacilariofíceas	Sitios	1,23	0,255	n.s
	Ocasiones	2,44	0,015*	M1, M5, M6
	Macrófitas	1,46	0,17	n.s
Clorofíceas	Sitios	2,81	0,569	E3-E9
	Ocasiones	1,5	0,949	n.s
	Macrófitas	0,99	0,582	n.s
Euglenofíceas	Sitios	6,01	>0,001*	E5, E7, E9, E12
	Ocasiones	5,04	>0,001*	M1, M2, M3, M5, M9
	Macrófitas	1,67	0,19	n.s
Dinofíceas	Sitios	3,81	>0,001*	E1, E2, E7, E13
	Ocasiones	2,05	0,074	n.s
	Macrófitas	2,01	0,14	n.s
<b>Variables comunitarias</b>				
Densidad	Sitios	1,73	0,065	n.s
	Ocasiones	5,19	>0,001*	M3-M5-M14
	Macrófitas	6,42	0,001*	Sustrato 1- Sustrato 2
Riqueza	Sitios	8,24	>0,001*	E1, E2, E7, E9
	Ocasiones	28,52	>0,001*	M1, M4, M6, M9
	Macrófitas	3,25	0,040*	Sustrato 1- Sustrato 2
Diversidad	Sitios	5,74	>0,001*	E1, E2, E5, E9, E12
	Ocasiones	6,75	>0,001*	M1, M2, M7, M9
	Macrófitas	0,1	0,9	n.s
Equitatividad	Sitios	0,74	0,719	n.s
	Ocasiones	0,91	0,512	n.s
	Macrófitas	1,03	0,35	n.s
Dominancia	Sitios	4,47	>0,001*	E2, E9, E12
	Ocasiones	2,87	0,004*	M1, M2, M9
	Macrófitas	0,05	0,95	n.s

n.s: no significativas; E: estación; M: muestreo; Asterisco: valor altamente significativo

sitios y éstas últimas y los dinoflagelados tampoco fueron diferentes en abundancia al comparar las ocasiones de muestreo (Tabla 4). De las variables comunitarias, los ANOVA realizados previo chequeo de los supuestos de la prueba para la riqueza específica, presentaron diferencias significativas entre los sitios, las ocasiones y las macrófitas muestreadas. En contraste la equitatividad no presentó diferencias en ningún caso estudiado. Por último, la densidad de organismos fue diferente temporalmente y, la diversidad y la dominancia lo fueron con respecto a las ocasiones de muestreo (Tabla 4).

Entre las estaciones, la E1 (Ciénaga La Miel) presenta diferencias respecto a los otros sitios de muestreo, ya que se presentaron las mayores densidades ficoperifíticas, diferencias estadísticas en el ANOVA respecto a la riqueza de especies, la diversidad y a la abundancia de clorofíceas, diatomeas, pirrófitas y cianobacterias. Las euglenofíceas presentaron mayor sensibilidad a las variaciones ocasionadas por el pulso de inundación y sequía. Este grupo fue el que presentó el mayor número de relaciones significativas (correlación de Spearman) con los índices comunitarios y con la densidad fico-perifítica.

### Discusión

Las formas de crecimiento mejor representadas en todas las estaciones de muestreo son los talos filamentosos y los unicelulares. La mayoría de las algas filamentosas registradas son cianobacterias sin estructuras de fijación, las que simplemente se asocian al sustrato por el entrelazamiento de sus talos con ayuda de la vaina mucilaginosas (Cavati & Fernandes 2008). En el caso de las clorofitas filamentosas, el género predominante es *Oedogonium* sp., cuyos individuos son típicamente perifíticos, buenos competidores por la luz y el espacio y están adaptados a concentraciones elevadas de nutrientes (Fernandes 2005). Entre los organismos unicelulares pre-

dominan en el epifiton las diatomeas que poseen estructuras especializadas para la fijación (Round *et al.* 1990) y las desmidiales, las cuales son típicamente perifíticas o bentónicas (Wetzel 2001). Este último grupo es representativo del perifiton en ambientes tropicales, encontrándose principalmente en aguas ácidas, pobres en nutrientes, con baja conductividad y elevada transparencia (Felisberto & Rodrigues 2005).

Las diatomeas son el grupo dominante en la abundancia y riqueza de especies en la mayoría de las comunidades, situación que también ha sido ampliamente registrada en otros ecosistemas tropicales (Rodrigues & Bicudo 2001, Rodrigues *et al.* 2003, Martínez & Donato 2003, Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004, Montoya-Moreno & Ramírez 2007, Donato 2010). Las diatomeas son, en general, las algas dominantes en la matriz perifítica, ya que poseen la capacidad de desarrollarse en ambientes con exceso de energía (sistema polimíctico, somero, sometido al pulso de inundación y flujo hidráulico (Montoya-Moreno 2011). Se ha encontrado que requieren de menor cantidad de luz y concentraciones de fósforo (Winter & Duthie 2000). Frecuentemente, se presentan como epífitos primarios, y contribuyen poco al escaso epifitismo secundario, lo que puede relacionarse al corto tiempo de retención hidráulico del sistema (<37 d). Predominan las especies *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Diademesis confervacea* Kützinger, *Encyonema minutum* (Hilse) DG Mann, *Eunotia naegeli* Migula, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Synedra rumpens* var. *familiaris* (Kützinger) Hustedt, *Gomphonema parvulum* (Kützinger) Kützinger, *Navicula cryptocephala* Kützinger, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützinger) Lange-Bertalot y *Fragilaria gouldardii* (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot.

El otro grupo algal que presenta una elevada riqueza de especies para la zona de muestreo es el de las desmidiales, característico de ambientes

lénticos de aguas transparentes y un abundante desarrollo de macrófitas (Rodrigues *et al.* 2008). Este grupo presenta mayor relevancia en las estaciones con los valores más elevados de transparencia y/o en la fase de aguas altas. Ramírez (2000) considera que el crecimiento y desarrollo de las desmidiales se encuentra favorecido en ambientes ricos en sustancias húmicas y orgánicas disueltas, lo cual es una condición característica del sistema de planos inundables de Ayapel (Peña 2008). Algunas de las especies que se encontraron en la mayoría de las muestras son *Cosmarium laeve* Rabenhorst, *Cosmarium lobatum* Borgeesen, *Cosmarium pseudoconnatum* Nordstedt, *Cosmarium margaritifera* Meneghini ex Ralfs, *Closterium lunula* Ehrenberg & Hemprich ex Ralfs, *Closterium setaceum* Ehrenberg ex Ralfs, *Euastrum* cf. *ansatum* Ralfs, *Euastrum sinuosum* Kützing, *Hyalotheca dissiliens* Brébisson ex Ralfs y *Pediastrum tetras* (Ehrenberg) Ralfs.

El tercer grupo en importancia en cuanto a su contribución a la riqueza de especies es el de las cianobacterias. Estas son consideradas como de amplia distribución, encontrándose en variados climas y estados tróficos (Rodrigues *et al.* 2008). Predominan las especies *Anabaena fertilissima* CB Rao, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, *Chroococcus* sp, *Lyngbya* cf. *limnetica* Lemmermann, *Oscillatoria* sp y *Trichodesmium* sp.

Se observó a nivel espacial que los grupos algales predominantes exhiben diferencias de acuerdo a las características ambientales propias de cada sitio investigado, lo que derivó en los contrastes en la estructura las comunidades. Por el contrario, los grupos menos representativos en cuanto su contribución a la riqueza de especies y a la densidad total (criptofitas, heterocontas no bacilariofíceas y dinoflagelados), no presentaron en general, diferencias entre sitios, estaciones ni

macrófitas, por lo que podrían considerarse como elementos estables dentro de las comunidades. La ausencia de variación témporo-espacial y la densidad baja señalan que estos organismos a nivel grupal tendrían un valor relativamente menor como indicadores del estado ecológico.

El desarrollo y la fisiología del epifiton están relacionados intrínsecamente con la dinámica estructural y la fisiología del sustrato vivo (Rodrigues *et al.* 2003). De esta forma, pueden presentarse frecuentemente diferencias en la composición y biomasa de las algas perifíticas presentes en diferentes especies de macrófitas en el mismo sitio (Rodrigues *et al.* 2008). Esta situación se evidenció en la ciénaga de Ayapel, sistema en el cual al comparar macrófitas emparentadas evolutivamente (*E. crassipes*, *E. azurea* y *E. heterosperma*) se encontraron diferencias en la estructura y composición de la comunidad, para un mismo sitio de muestreo (Montoya-Moreno *et al.* 2011). Además de la relación entre la matriz perifítica y las sustancias segregadas por la planta y de pequeñas variaciones en la arquitectura de las raíces, Wehr & Sheat (2003) señalan que las características inherentes al sustrato, como la textura de la superficie y las propiedades químicas de las macrófitas, también pueden influir al epifiton. Roldán & Ramírez (2008) consideran que el perifiton se desarrollará mejor en sustratos que le ofrezcan estabilidad y donde la acción de las corrientes sea mínima. Incluso, para estos autores, el tipo de sustrato, más que la intensidad lumínica o los nutrientes, podría ser el factor limitante de esta comunidad en algunos casos.

Consideramos que la variabilidad del sustrato genera diferencias en la composición del ensamble, las cuales no afectan la composición de los grupos taxonómicos más si la densidad algal epifítica. En relación con las variables comunitarias, la densidad algal perifítica tiene mayores valores (promedio=8.964 ind.cm<sup>-2</sup>) respecto a

otras comunidades similares en otros ecosistemas lénticos colombianos, tales como sistemas lagunares de alta montaña (400 ind.cm<sup>-2</sup> y 1.800 ind.cm<sup>-2</sup>; Donato et al. 1996), embalses del oriente antioqueño (2.989 ind.cm<sup>-2</sup>; Moreno 1989), el humedal Jaboque (774 ind.cm<sup>-2</sup>; Arcos-Pulido & Gómez Prieto 2006). En contraste, en el río Medellín se contabilizaron entre 1.095 y 54.620 ind.cm<sup>-2</sup> (Montoya-Moreno & Ramírez 2007). Si bien los valores de densidad hallada en el presente trabajo serían relativamente elevados, en Brasil, Cavati & Fernandes (2008) encontraron sobre *E. azurea* densidades que variaron entre 20.592 y 88.712 ind.cm<sup>-2</sup>, las cuales estuvieron relacionadas con la disminución de las precipitaciones, la temperatura, la conductividad y el incremento de la transparencia del agua.

Durante las fases de aguas altas se observa una mayor densidad de algas, hecho que es contrario a la hipótesis planteada. Algarte *et al.* (2006) encontraron mayores densidades en el epifiton en el período de aguas bajas y menores densidades durante aguas altas, lo cual relacionaron con la mayor velocidad del flujo de agua que se registra entre los ambientes de inundación del río Paraná. No obstante, puede relacionarse la mayor abundancia perifítica en aguas altas en Ayapel con el aumento de la transparencia y de la concentración de nutrientes así como también de la cantidad de sustrato colonizable. Leandrini & Rodrigues (2008) consideran que estos factores, derivados del aumento del nivel del agua (según Thomaz *et al.* 2007) contribuye al incremento de los propágulos de las algas metafíticas y/o perifíticas, y en consecuencia, hacia el aumento de la biomasa. Otro aspecto a mencionar tiene relación con la estrategia de adhesión de los ejemplares encontrados, ya que las especies con estrategias de fijación como las diatomeas, fueron abundantes en el sistema durante las diferentes etapas del pulso de inundación. La equitatividad no presenta diferencias significativas a lo largo del tiempo, en el espacio o entre las diferentes macrófitas, lo que permite con-

siderar que la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad es estable, ya que las diatomeas contribuyen en promedio con el 50% de la abundancia relativa en la mayor parte de las muestras. En contraste, la riqueza de especies varía significativamente en todos los niveles evaluados en el sistema de Ayapel, lo que permite considerar que las especies responden a las variaciones ambientales de cada sitio, sustrato y período hidrológico.

En el caso de las ciénagas, *Amphora* sp, *Euastrum* cf *ansatum* se asociaron con el aumento de la pluviosidad; *Crucigenia* sp y *Hannea arcus* con el aumento de la profundidad; *Naviculadicta nanogomphonema* y *Clorella* sp con el aumento de las concentraciones de oxígeno y de nitritos y finalmente, *Ankistrodesmus falcatus*, *Rivularia* sp, *Coelanastrum* sp, *Sphaerocistis* sp, *Trachelomonas* cf *crebea*, *Oedogonium* sp, *Lymbya* cf *limnetica* y *Trichodesmium* sp con el incremento de la concentración de nitrógeno en forma amoniacal. Respecto a los caños, *Achanthes inflata* y *Gomphonema clavatum* se asociaron con el incremento del fósforo; *Synedra montana* se relacionó con el incremento de la conductividad eléctrica; *Aulacoseira granulata* y *Hannea arcus* se relacionaron con el aumento de los nitritos y *Gomphonema parvulum*, *Brachysira microcephala*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea* y *Neidium affine* con el incremento de la concentración de nitrógeno en forma amoniacal (Montoya-Moreno & Aguirre 2013).

Rodrigues *et al.* (2008) consideran que la composición y abundancia de taxones puede indicar las condiciones abióticas e indicar la heterogeneidad espacial y temporal, razón que justifica la posibilidad de emplear al epifiton como un indicador de la calidad biológica del agua del sistema cenagoso. La diversidad y dominancia varían a nivel espacial y en el tiempo, más no respecto al sustrato, lo cual puede considerarse



como indicador de una respuesta del epifiton a las condiciones fisicoquímicas e hidrológicas y no hacia el sustrato.

En el sistema se observa que en la época de lluvias se genera una exportación de macrófitas de las ciénagas satélites hacia el cuerpo principal, mientras que en aguas bajas, estas son retenidas en las riveras de caños y ciénagas anexas (observación personal). Estos bancos de macrofitas también pueden propiciar un ambiente protegido a las perturbaciones para las algas epífitas, al sombrear la región litoral, reducir la acción del flujo y del oleaje, atenuar los efectos de la resuspensión de materiales y proveer de refugio contra los pastoreadores del plancton (Cavati & Fernandes 2008). Aunque las condiciones de polimixis y el bajo tiempo de residencia imperante en el sistema pueden reducir esta protección, especialmente en aguas bajas.

### Conclusión

El sistema de Ayapel exhibe una elevada riqueza específica de microalgas epífitas, especialmente de bacilariofitas, desmidiales y cianobacterias. Estos grupos evidencian diferencias espaciales y temporales asociadas a los pulsos de inundación. Se hace necesaria la identificación a nivel de especie, porque el uso de categorías taxonómicas como familia y división no permite evidenciar cambios ambientales, incluso no logra detectar variaciones entre los diferentes sustratos (macrófitas). La mayor riqueza de especies de diatomeas en el perifiton puede deberse a un mayor esfuerzo taxonómico en este grupo, por lo que idealmente se requeriría poder contar con expertos en diferentes grupos algales.

### Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia por la beca de estudiante instructor del primer autor Resolución N° 007398

y al grupo de investigación Gaia por su apoyo económico para la realización de una pasantía en el Museo de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Este estudio fue financiado por el convenio Universidad de Antioquia-Gaia-Universidad Nacional de Colombia, en el proyecto Grecia-Colciencias. A los profesores María Adela Casco, Andrés Boltoskoy, Amelia Vouilloud, Silvia Sala, Ricardo Echenique, Andrea Coradeghini quienes apoyaron la identificación de las microalgas.

### Literatura citada

- Aguirre RN, Palacio J, Flórez MT, Wills A, Caicedo O, Jiménez LF, *et al.* 2005. *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia*. Medellín: Universidad de Antioquia-Universidad Nacional de Colombia. 419 pp.
- Aguirre- Sánchez D, Aguirre NJ, Caicedo O. 2008. Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la Quebrada la Ayurá en Envigado (Antioquia). *Producción más limpia 3 (1)*: 50- 60.
- Algarate VM, Moresco C, Rodrigues L. 2006. Algas do perifiton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum (Biol Sci)* 28: 243-51.
- Arcos- Pulido M, Gómez- Prieto AC. 2006. *Perifiton: un estudio en el humedal Jaboque*. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Aloí JE. 1990. A critical review of recent freshwater periphyton field methods. *Can J Fisheries Aquatic Sci.* 47: 656-70.
- Bowker DM. 1983. The spatial distribution of algae on shoots of emergent macrophytes in a reedswamp in the littoral zone of lake Windemere. *Nova Hedwigia*. 37: 389-401.
- Bowker DM, Teutem W, Fry JC. 1986. A note on «stomaching» for the quantitative sampling of epiphyton. *Freshwater Biol.* 16: 123-5.
- Bustamante- Toro C, Dávila- Mejía C, Torres- Cohecha S, Ortiz- Díaz JF. 2009. Composición y abundancia de la comunidad de ficoperifiton en el río Quindío. *Rev Invest Universidad del Quindío* 18: 15- 21.
- Cano MG. 2008. *Fitoperifiton de un lago somero y su relación con los estados de bieuilibrio*. Tesis de Doctorado. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de La Plata.
- Cavati B, Fernandes VO. 2008. Algas perifíticas em dois

- ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno-Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scient Biol Sci.* 30 (4): 439-48.
- CEN/TC 230. 2002. *Water quality-guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*. European Standard. Standard Reference 13946.
- Díaz-Quirós C, Rivera-Rondón CA (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*. 26 (2): 381-94.
- Donato JCh, González GE, Rodríguez ML. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Donato JCh. 2010. *Phytoplankton of Andean Lakes in Northern Southamerica (Colombia)*. Diatom Monographs 11. ARG Ganter Verlag KG. Alemania
- Felisberto SA, Rodrigues L. 2005. Influência do gradiente longitudinal (rio-barragem) na similaridade das comunidades de desmídias perifíticas. *Rev Bras Bot.* 28 (2): 241-54.
- Fernandes VO. 2005. Perifiton: conceitos e aplicações da limnologia à engenharia. In: Roland F. (ed). São Carlos: Lições de limnologia. pp. 351-70.
- Guiry MD, Guiry GM. 1996-2013. AlgaeBase. www.algaebase.org. Consultado octubre 19, 2013. World-wide electronic publication. Galway: National University of Ireland.
- Hernández-Atilano E, Aguirre NJ, Palacio JA. 2005. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Actual Biol.* 27 (82): 67-77.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1986. *Estudio general de los suelos de los municipios de Ayapel, Buenavista, Planeta Rica y Pueblo Rico (Departamento de Córdoba)*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Jahn R, Kusber W-H. 2005-2013. AlgaTerra Information System [online]. www.algaterra.org. Consultado octubre 19 2013. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin.
- Leandrini JA, Fonseca IA, Rodríguez L. 2008. Characterization of habitats based on algal periphyton biomass in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz J Biol.* 68 (3): 503-9.
- Lobo EA, Leighton G. 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la Zona Central de Chile. *Rev Biol Mar.* 22: 1-29.
- Martínez LF, Donato JCh. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*. 25(2): 337-54.
- Moreno LF. 1989. *Colonización del perifiton en tres embalses del oriente antioqueño*. Tesis de pregrado (Biología), Medellín: Universidad de Antioquia.
- Montoya-Moreno Y, Ramírez JJ. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Rev Biol Trop* 55 (2): 585-93.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009a. Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (Ciénagas) en Colombia. *Rev Gest Amb.* 12 (3): 85-106.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2009b. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Rev Hidrobiol.* 18(3): 189-98.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2013a. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Rev Gest Amb.* 16 (3): 91-117.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N. 2013b. Knowledge to ecological preferences in a tropical epiphytic algae to use with eutrophication indicators. *J Environ Protec.* 4: 27-35
- Montoya-Moreno Y. 2011. *Efecto del pulso de inundación en la dinámica algal epifítica en un sistema de lagos de planicie de inundación tropicales (Ciénaga de Ayapel-Colombia)*. Tesis de doctorado. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N, González EM. 2011. *El perifiton del sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba-Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Medellín.
- Neiff JJ. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En: Málvarez A (ed). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Uruguay: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe (ORCYT). pp 99-149.
- Peña DS. 2008. Comportamiento del carbono orgánico en la ciénaga Ayapel, Colombia. Trabajo de investigación de maestría. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ramírez GA, Viña VG. 1998. Limnología colombiana. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez JJ. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Rodrigues L, Bicudo DC. 2001. Similarity among periphyton algal communities in lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev Bras Bot.* 24(3): 235-48.
- Rodrigues L, Bicudo DC, Moschini-Carlos V. 2003. O

- papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. In: Thomaz SM, Bini LM (eds). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: Eduem. pp 211-29.
- Rodrigues L, Zanon JE, Carapurnala L, Biolo S. 2008. *Perifiton en a planície Alagável do Rio Paraná: estrutura e processo ambiental*. Disponible en <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf>. Fecha de consulta: 17 de julio de 2012
- Roldán PG, Ramírez JJ. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ross J. 1979 *Práticas de ecología*. Barcelona: Omega.
- Round F, Crawford RM, Mann DG. 1990. *The diatoms. Biology y morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sierra O, Ramírez JJ. 2000. Variación espacio-temporal de biopelículas en la represa La Fe, el Retiro, Antioquia (Colombia). *Actual Biol.* 22 (73): 153-168
- Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL. 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*. 579 (1): 1-13 DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.014
- Wehr DJ, Sheat RG. 2003. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. California Academic Press.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*. Academic Press. San Diego, USA
- Winter JG, Duthie HC. 2000. Epilithic diatoms as indicators of stream total N and P concentration. *J North Am Benthol Soc.* 19 (1): 32-49. DOI: 10.2307/i263949

## Apéndice

### Información detallada empleada para la determinación de las especies algales.

En el laboratorio para la determinación de las especies del ficoperifiton se empleó literatura especializada de acuerdo con el grupo algal. Para las cianobacterias se empleó Kómarek & Anagnostidis (1998, 2005), Pereira *et al.* (2000), Sant'Anna *et al.* (2004), Echenique *et al.* (2004), Fonseca & Rodríguez (2005); con los euglenófitos se empleó Tell & Conforti (1986), Salazar (1989), Alvez da Silva & Rizzi (2006), Alvez da Silva *et al.* (2008), para las clorofíceas se usó Bourrelly (1966, 1968, 1985), Prescott *et al.* (1972, 1975, 1977), Prescott *et al.* (1981, 1982), Sophia *et al.* (2005).

Para la identificación de las diatomeas procesadas, se empleó Patrick & Reimer (1966, 1975), Krammer (1982, 1997a, 1997b, 2000, 2001, 2002, 2004), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1991a, 1991b, 1997), Simonsen (1987), Round *et al.* (1990), Krammer (1997a, 1997b), Lange-Bertalot (1993, 2001), Lange-Bertalot & Moser (1994), Lange-Bertalot *et al.* (1996), Reichardt (1995, 1999), Metzeltin & Lange-Bertalot (1998, 2007), Metzeltin *et al.* (2005), Rumrich *et al.* (2000), Siver & Hamilton (2011) y Siver *et al.* (2005).

### Literatura taxonómica

- Alvez da Silva SM, Rizzi J. 2006. Euglenophyceae de ambientes lênticos na planície costeira do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil: gêneros *Euglena* Ehr. e *Lepocinclis* Perty. *Acta Bota Bras.* 20 (2): 411-22.
- Bourrelly P. 1966. Les algues d'eau douce. Paris: N Boubée y Cie.
- Bourrelly P. 1968. Les algues d'eau douce. Paris: N Boubée y Cie.
- Bourrelly P. 1985. Les algues d'eau douce. Paris: N Boubée y Cie.
- Echenique R, Núñez-Avellaneda M, Duque S. (2004). Chlorococcales de la amazonía colombiana. I: *Chlorellaceae* y *Scenedesmaceae*. *Caldasia*. 26 (1): 37-51.
- Fonseca IA, Rodríguez L. 2005. Cianobacterias perifíticas em dois ambientes lênticos da planície de inundaçao do alto Rio Paraná, PR, Brasil. *Rev Bras Bot.* 28 (4): 821-34.
- Kómarek J, Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokariota. 2<sup>nd</sup> part: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/2. München: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag.
- Krammer K. 1982. Valve morphology in the genus *Cymbella*. In: Helmcke JG, Krammer K (ed). *Micromorphology of diatom valves*. vol. 11. Cramer Vaduz: pp. 11-299.
- Krammer K. 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1. Allgemeines und *Encyonema* Part. In: *Bibliotheca Diatomologica* 36. Stuttgart: J. Cramer.
- Krammer K. 1997b. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2. *Encyonema* Part, *Encyonopsis* and *Cymbelloopsis*. In: *Bibliotheca Diatomologica* 37. Stuttgart: J

- Cramer.
- Krammer K. 2000. Diatoms of Europe: The genus *Pinnularia*, vol 1. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats Edited by H. Lange-Bertalot. ARG Gantner Verlag.
- Krammer K. 2001. Diatoms of Europe: *Navicula sensu stricto* 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*, *Frustulia*, vol 2. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats Edited by H. Lange-Bertalot. ARG Gantner Verlag.
- Krammer K. 2002. Diatoms of Europe: *Cymbella*, vol 3. Edited by H. Lange-Bertalot. ARG Gantner Verlag. Germany
- Krammer K. 2004. Diatoms of Europe: *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocybella*, vol 4. Edited by H. Lange-Bertalot. ARG Gantner Verlag.
- Krammer K, Lange Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 1, Teil. *Naviculaceae*. Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Krammer K, Lange Bertalot H. 1997. *Bacillariophyceae*, In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2, Teil. *Bacillariaceae*, *Ephimemiaceae*, *Surirellaceae*. Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Krammer K, Lange Bertalot H. 1991a *Bacillariophyceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 3 Teil: Centrales, *Fragilariaceae*, *Eunotiaceae*. Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Krammer K, Lange Bertalot H. 1991b. *Bacillariophyceae*. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 4 Teil: *Achanthaceae*, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Lange-Bertalot H. 1993. 85 New Taxa and much more the 100 taxonomic clarifications supplementary to Süßwasserflora von Mitteleuropa. Vol 2/1-4. In: *Bibliotheca Diatomologica* 27. Stuttgart: J. Cramer.
- Lange-Bertalot H, Moser G. 1994. *Brachysira*. Monographie der Gattung. Wichtige Indikator-Species für das Gewässer-Monitoring und *Naviculadicta* nov. gen. In: *Bibliotheca Diatomologica* 29. Stuttgart: J. Cramer.
- Lange-Bertalot H, Külbs K, Lauser T, Nörpel-Schempp M, Willman M. 1996. Diatom taxa introduced by Georg Krasske Documentation and Revision. *Iconographia Diatomologica. Annotated diatom micrographs*. Volume 3. Königstein: Koeltz Scientific Books.
- Lange-Bertalot H. 2001. Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. *Navicula sensu stricto* 10 Genera separated from *Navicula sensu lato* *Frustulia*. ARG Gantner KG Ruggel.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H. 1998. Tropical diatoms of South America I. In: Lange-Bertalot. H (ed.). *Iconographia Diatomologica* 5. Koeltz: Scientific Books.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H. 2007. Tropical diatoms of the South America II. *Iconographia Diatomologica* 18. ARG. Gantner Verlag KG Koenigstein.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H, García-Rodríguez F. 2005. Diatoms of Uruguay. *Iconographia Diatomologica* 15: ARG Gantner. Verlag: KG Koenigstein.
- Pereira I, Reyes G, Kramm V. 2000. *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae*, *Chlorophyceae*, *Zygnematophyceae* y *Charophyceae* en arrozales de Chile. *Gayana Bot.* 57 (1): 1-25.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1972. Desmidiaceae 1: *Saccodermaceae*, *Mesotaeniaceae* (North America Flora). New York: The New York Botanical Garden.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1975. A synopsis of North America desmids 2: *Desmidiaceae*, Placoderm, 1. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC. 1977. A synopsis of North America desmids 2: *Desmidiaceae*, Placoderme, 2. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Prescott GW, Croasdale HT, Vinyard WC, Bicudo CE. 1981. A synopsis of North America desmids 2: *Desmidiaceae*: Placoderme, 3. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Prescott GW, Bicudo CE, Vinyard WC. 1982. A synopsis of North American Desmids. Part. II. *Desmidiaceae*: Placodermaceae. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Ramírez JJ. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Reichardt E. 1995. Die Diatomeen (Bacillariophyceae) in Ehrenbergs material von Cayenne, Guyana Gallica (1843). *Iconographia Diatomologica* 1. Königstein: Koeltz Scientific Books.
- Reichardt E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. *Iconographia Diatomologica* 8. Koenigstein: ARG Gantner Verlag KG.
- Rumrich U, Lange-Bertalot H, Rumrich M, 2000. Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/ Feuerland Und zwei weitere Beiträge. *Iconographia Diatomologica* 9. Koenigstein: ARG Gantner Verlag KG.
- Salazar C. 2004. Euglenophyta pigmentadas asociadas a *Hymenachne amplexicaulis* en una sábana tropical inundable. *Acta Bot Venez.* 27 (2): 1-23.
- Sant'Anna C, Azevedo M, Senna PA, Komárek J, Jaroslava

- K. 2004. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Rev Bras Bot.* 27 (2): 213-27.
- Simonsen R. 1987. *Atlas and catalogue of the diatom types of Friedrich Hustedt*. Volume 1: 525; Volume 2: 1-395, Volume 3: 395-796. Berlin: Cramer.
- Siver PA, Hamilton PB, Stachura-Suchoples K, Kociolek JP. 2005. Diatoms of North America. The freshwater Flora of Cape Cod. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 14. Koenigstein: ARG Gantner Verlag KG.
- Siver PA, Hamilton PB. 2011. Diatoms of North America. The freshwater Flora of Waterbodies on the Atlantic Coastal Plain. *Iconographia Diatomologica* 22. Koenigstein: ARG Gantner Verlag KG.
- Sophia M, Alves-Dias IC, De Araújo AM. 2005. Chlorophyceae and Zygnematophyceae from the Turvo State Forest Park, state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia, Série Botânica*. 60 (1): 25-47.
- Tell G, Conforti V. 1986. *Euglenophyta pigmentadas de la Argentina*. Biblioteca Phycologica. Berlin: J Cramer.